پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دورهٔ ۵۰، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۹۷
ص ۸۲۷- ۸۱۳

کارایی الگوریتم جست‌وجوی گرانشی نسبت به تخصیص چندهدفهٔ سرزمین در به‌گزینی کاربری کشاورزی حوضهٔ آبخیز بیرجند

الهام یوسفی روبیات*- استادیار دانشکدهٔ منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند
فاطمه جهانی‌شکیب- استادیار دانشکدهٔ منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند
علی نخعی- مربی گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکدهٔ فنی مهندسی، دانشگاه پیام نور، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۹/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۷/۳

چکیده

آمایش سرزمین پایدار سازوکار تنظیم سیاست‌های کاربری اراضی و بهبود شرایط فیزیکی و مکانی است و می‌تواند برای استفادهٔ بهینه و حفاظت بلندمدت منابع طبیعی نقش ایفا کند. از طرفی، به‌کارگیری مدل‌های بهینه‌سازی امری ضروری است؛ زیرا دارای تعامل با اهداف چندگانه، حالت فضایی، منطقهٔ تحقیقاتی بزرگ، الزامات کارایی و تأثیرات آن‌هاست. بنابراین، الگوریتم‌های فراابتکاری ابزار کارآمدی برای حل مشکلات پیچیدهٔ فضایی شناخته شده است و قابلیت ارائهٔ فناوری بالا و قابل اعتماد برای حل مسائل بهینه‌سازی غیرخطی را داراست. در این پژوهش، از الگوریتم جست‌وجوی گرانشی (GSA) به‌منظور به‌گزینی کاربری کشاورزی در حوضهٔ آبخیز بیرجند استفاده شده است. در این الگوریتم، بر اساس توابع برازش، اهدافی نظیر بیشینه‌کردن تناسب محیطی، بوم‌شناختی، فشردگی و سیمای سرزمین، و کمینه‌کردن تغییرات کاربری با قیودی مانند محدودیت توسعهٔ فضایی و میزان تقاضا مناسب‌ترین مکان‌ها انتخاب شد. همچنین، به‌منظور ارزیابی کارایی الگوریتم GSA در به‌گزینی اراضی کشاورزی آینده، نتایج حاصل با الگوریتم تخصیص چندهدفهٔ سرزمین (MOLA) مقایسه شد. یافته‌های حاصل از مقایسهٔ بصری، پارامترهای آماری، و تحلیل سنجه‌های سیمای سرزمین حاکی از کارایی و برتری نسبی نتایج الگوریتم GSA نسبت به MOLA است، که این مناطق بیشتر در حال حاضر دارای کاربری مرتع کم‌تراکم و اراضی دیم هستند.

کلیدواژگان: الگوریتم جست‌وجوی گرانشی (GSA)، الگوریتم‌های فراابتکاری، به‌گزینی کشاورزی، بیرجند، MOLA.

مقدمه

پشتوانهٔ تفکر آمایش سرزمین پایدار تصمیم‌گیری با توجه به موقعیت (کجا) و تناسب (چه میزان) استقرار فعالیت‌های کاربری اراضی خاص است و این اهمیت دارد که این تعامل قضاوت‌ها در سه عنصر اصلی توسعهٔ پایدار یعنی اقتصادی، اجتماعی، و محیط زیستی ریشه داشته باشد (کائو و همکاران، ۲۰۱۲). از آنجا که اصطلاح پایداری گسترده است و شفاف نیست، برای دست‌یابی به یک آمایش سرزمین پایدار ابتدا باید این اصطلاح را شفاف کرد تا اصول و پایهٔ کار مشخص شود. بنابراین، در این پژوهش ابتدا تلاش برای پیداکردن مفاهیم، اصول، و معیارهای یک ارزیابی تناسب زمین پایدار از بُعد محیط زیستی بوده است (کالینز و همکاران، ۲۰۰۱).

از سوی دیگر، مدیران و برنامه‌ریزان محیط زیستی امروزه به‌طور فزاینده‌ای از پیشرفت‌های فنی در مکان‌یابی

* نویسندهٔ مسئول: ۰۹۱۵۱۶۰۰۶۲۵
E-mail: e_yusefi_31@birjand.ac.ir

کاربری اراضی و مدل‌سازی تناسب آگاه‌اند. این روش‌های جدید از تحلیل فضایی اکنون به‌طور رایج در توسعهٔ طرح‌های کاربری اراضی، بازبینی اثرهای محیط زیستی، و مطالعات مکان‌گزینی برای بسیاری از کاربری‌های گوناگون و تسهیلات عمومی و خصوصی استفاده می‌شوند (مالچفسکی، ۲۰۰۰). بررسی پایهٔ تاریخی این روش‌ها امکان دست‌یابی به شایستگی‌های این فرایندها یا پیشرفت‌های آینده در این رشته را فراهم می‌کند. از این رو، مطالعات کالینز و همکاران (۲۰۰۱) در ارتباط با تحولات روش‌شناختی و فناورانهٔ تجزیه و تحلیل تناسب کاربری اراضی، در بیش از صد سال گذشته، مستندات مهمی را در اجرای تناسب کاربری اراضی بیان می‌کند. در این مطالعه روش‌های تناسب کاربری اراضی و پیشرفت‌های روش‌شناختی به پنج مرحلهٔ کلی طبقه‌بندی شده است؛ هرچند این مراحل با یکدیگر همپوشانی دارند که ناشی از پیشرفت سریع در فناوری رایانه است و تحقیقات علمی و عملی را تحت تأثیر قرار داده است. این مراحل از طریق تغییر در ارائه، فناوری، و تئوری متمایز شده‌اند که عبارت‌اند از (کالینز و همکاران، ۲۰۰۱): مرحلهٔ یکم: نقشه‌های دستی اولیه؛ مرحلهٔ دوم: پیشرفت در ادبیات؛ مرحلهٔ سوم: روی‌هم‌گذاری نقشه‌ها به کمک رایانه؛ مرحلهٔ چهارم: تعریف مجدد داده‌های مکانی و ارزیابی چندمعیاره؛ مرحلهٔ پنجم: تکثیر دانش کارشناسی. نشانهٔ مرحلهٔ پنج ادغام هوش مصنوعی (AI)[1] در تجزیه و تحلیل تناسب کاربری اراضی است و این مرحله مرحلهٔ فعلی پژوهش در این زمینه است. در بیست سال گذشته، روش‌های هوش مصنوعی توسعه یافته و ابزارهایی که قادر به استفاده در حل بسیاری از مشکلات عملی جغرافیایی هستند مشاهده می‌شود. درواقع، هدف از این مقاله آن است که یک روش جست‌وجوی مؤثر و معتبر توسط الگوریتم‌های بهینه‌سازی (به‌عنوان جدیدترین روش هوش مصنوعی) در فضای جست‌وجوی بزرگ و پیچیده، چندگانه، و غیرواضح موجود در مسائل ارزیابی تناسب زمین معرفی شود.

تحلیل تناسب ابزاری برای تعیین مکان‌های مناسب‌تر در استقرار کاربری اراضی آینده است. روش‌ها و فنون ارزیابی محیط زیستی مدیران و برنامه‌ریزان محیط زیستی را قادر می‌کند تا تعامل میان سه عامل مکان، فعالیت‌های توسعه، و عناصر محیط زیست را تجزیه و تحلیل کنند (کائو و همکاران، ۲۰۱۱). در این زمینه آمایش سرزمین پایدار با تنظیم سیاست‌های کاربری اراضی در اجرای سیاست‌های موقعیت صحیح کاربری‌های مختلف و بهبود شرایط بهینهٔ فیزیکی و مکانی و حفاظت از منابع طبیعی در بلندمدت نقش ایفا می‌کند؛ در حالی‌که نیازهای نسل حاضر را نیز برآورده می‌کند (وانلیر، ۱۹۹۴). بنابراین، در این تحقیق با انتخاب اهداف دقیق و همه‌جانبه ابعاد یک ارزیابی تناسب کاربری اراضی پایدار بررسی و انتخاب شده است.

با توجه به سیر تکامل روش‌های ارزیابی تناسب کاربری اراضی، می‌توان به این نتیجه رسید که نگاه بیش از حد ساده‌انگارانه به مسائل و روابط محیط زیستی، نبود پایه و اساس علمی معتبر و دقت ناکافی در این روش‌ها و ورودی‌ها معمولاً دارای ابهام، بی‌دقتی، و نادرستی و همچنین نگاه جداگانه و مستقل به پارامترها (فرض استقلال عوامل)، سرعت کم، روش‌های نامناسب برای استانداردسازی و اینکه روش‌ها توسط برنامه‌ریزی خطی بررسی می‌شوند، ولی اهداف به عنوان توابع غیرخطی‌اند، مسیر روش‌های ارزیابی تناسب را به سمت کاربرد فناوری‌های نوظهور هوش مصنوعی به‌علت پشتوانهٔ قوی و دقت و سرعت بالای آن‌ها برده است. این فناوری برای یکپارچه‌سازی خودکار داده‌های چندبُعدی در یک محیط فازی برای مدل‌های بزرگ و پیچیدهٔ تخصیص کاربری اراضی امیدوارکننده به‌نظر می‌رسد. واسیلاس و همکاران (۲۰۰۱)، نیداملو و همکاران (۲۰۰۶)، و هااوپ و همکاران (۲۰۰۸) مطالعات خوبی در زمینهٔ کاربرد هوش مصنوعی در محیط زیست ارائه داده‌اند. همچنین، در طی دهه‌های اخیر، علاقهٔ وافری به الگوریتم‌های الهام‌گرفته از رفتار پدیده‌های طبیعی در زمینه‌های محیط

1. Artificial Intelligent (AI)

زیستی دیده می‌شود. این الگوریتم‌ها به‌خوبی برای حل مسائل محاسباتی از قبیل بهینه‌سازی تابع برازش، شناسایی الگو، اهداف کنترلی کاربردهای مهندسی، و حل مسائل پیچیده در زمینهٔ علوم مختلف مناسب‌اند (راشدی و همکاران، ۲۰۰۹). برخی از این الگوریتم‌ها به‌طور خاص در زمینه مسائل تخصیص کاربری زمین استفاده می‌شوند. مثلاً، الگوریتم ژنتیک[1] با الهام از علم وراثت و تکامل (خوش‌آموز و همکاران، ۱۳۹۱؛ مقصودی و همکاران، ۱۳۹۴؛ کامیاب و همکاران، ۱۳۹۴؛ متیو، ۲۰۰۱؛ دورن و رانجیتان، ۲۰۰۳؛ لی و یه، ۲۰۰۵؛ پنجاوییک و همکاران، ۲۰۰۶؛ متیو و همکاران، ۲۰۰۶؛ داتا و همکاران، ۲۰۰۷؛ استیوارت و جانسن، ۲۰۱۴؛ لی یو و همکاران، ۲۰۱۴؛ لی یو و همکاران، ۲۰۱۵)، شبیه‌سازی تبرید تدریجی[2] با الهام از مشاهدات ترمودینامیک (سانته- ریوریا و همکاران، ۲۰۰۸)، الگوریتم جست‌وجوی جمعیت مورچگان[3] با شبیه‌سازی رفتار مورچه‌ها در یافتن کوتاه‌ترین مسیر بین خانه و غذا (لی یو و همکاران، ۲۰۱۲) و بهینه‌سازی جمعیت ذرات[4] با تقلید از رفتار اجتماعی پرندگان و ماهی‌ها (ما و همکاران، ۲۰۱۱؛ لی یو و همکاران، ۲۰۱۲) به‌وجود آمده است.

یکی از مهم‌ترین فواید به‌کارگیری الگوریتم‌ها این است که پشتوانهٔ علمی معتبری در پس‌زمینهٔ خود دارد؛ حتی ابداع‌کنندگان روش‌های پُرکاربردی مانند روی‌هم‌گذاری‌ها توضیحات صریح و روشنی از منطق فکری خود ارائه نکرده‌اند. از سویی دیگر، الگوریتم‌ها ابزارهای تحلیل فضایی را در سطح بالایی برای کمک به توسعهٔ تحلیل‌های بهینه‌سازی و تناسب کاربری اراضی چندمعیارهٔ پیچیده ارائه می‌کنند. با استفاده از فناوری‌های هوش مصنوعی می‌توان فرصت‌های عظیمی برای کشف چارچوب‌های جدید تناسب کاربری اراضی پیشنهاد داد (کالینز و همکاران، ۲۰۰۱)؛ این فنون دارای قابلیت نقشه‌سازی و مرکب از مجموعه داده‌های بزرگ‌اند که در این پژوهش الگوریتم فراابتکاری جدید و کارآمد GSA[5] بررسی شده است. الگوریتم GSA با شبیه‌سازی قوانینی شبیه به قانون گرانش و حرکت نیوتن در محیطی با زمان گسسته در فضای جست‌وجو طراحی شده است. ویژگی‌های مثبت الگوریتم GSA همچون هم‌گرایی سریع، عدم توقف در بهینه‌های محلی، کاهش حجم محاسباتی نسبت به الگوریتم‌های تکاملی، و عدم نیاز به حافظه در مقایسه با دیگر الگوریتم‌های خانوادهٔ هوش جمعی بستر جدیدی از تحقیقات را فراروی محققان قرار داده است (ده‌باشیان و ظهیری، ۱۳۸۹). با توجه به مزایای الگوریتم GSA در این مقاله، از قابلیت‌های این الگوریتم در بهینه‌سازی مسائل ارزیابی تناسب زمین چندهدفه استفاده شده است.

معرفی محدودهٔ مورد مطالعه

منطقهٔ مورد مطالعه در این تحقیق حوضهٔ آبخیز بیرجند است. در مسائل آمایش سرزمین بهترین مرز برای مطالعه مرز حوضهٔ آبخیز است (مخدوم، ۱۳۹۰). حوضهٔ آبخیز بیرجند در شرق ایران و در استان خراسان جنوبی قرار دارد و شهر بیرجند در مرکز آن قرار گرفته است (شکل ۱). این حوضه از نظر موقعیت جغرافیایی بین ˚۵۸ ´۴۱ تا ˚۵۹ ´۴۴ طول شرقی و ˚۳۲ ´۴۴ تا ˚۳۳ ´۸ عرض شمالی قرار گرفته و در قسمت شمالی ارتفاعات باقران واقع شده است. وسعت کل حوضهٔ آبریز در حدود ۳۴۳۵ کیلومتر مربع است که ۹۸۰ کیلومتر مربع آن را دشت و مابقی را ارتفاعات تشکیل داده است. حداکثر ارتفاع حوضه از سطح دریا ۲۷۲۰ متر در ارتفاعات باقران (کوه‌شاه) و حداقل ارتفاع ۱۱۸۰ متر در خروجی دشت (منطقهٔ فدشک) است. دشت بیرجند با میانگین بارش سالانه ۱۴۰ میلی‌متر و متوسط درجهٔ حرارت ۱۶٫۵ درجهٔ سانتی‌گراد بر اساس طبقه‌بندی‌های اقلیمی جزو مناطق خشک به‌شمار می‌رود. شکل ۱ موقعیت این حوضه را نشان می‌دهد.

1. Genetic Algorithm (GA)
2. Simulated Annealing (SA)
3. Ant Colony Search Algorithm
4. Particle Swarm Optimization (PSO)
5. Gravity Search Algorithm (GSA)

شکل ۱. نقشهٔ موقعیت حوضهٔ آبخیز بیرجند

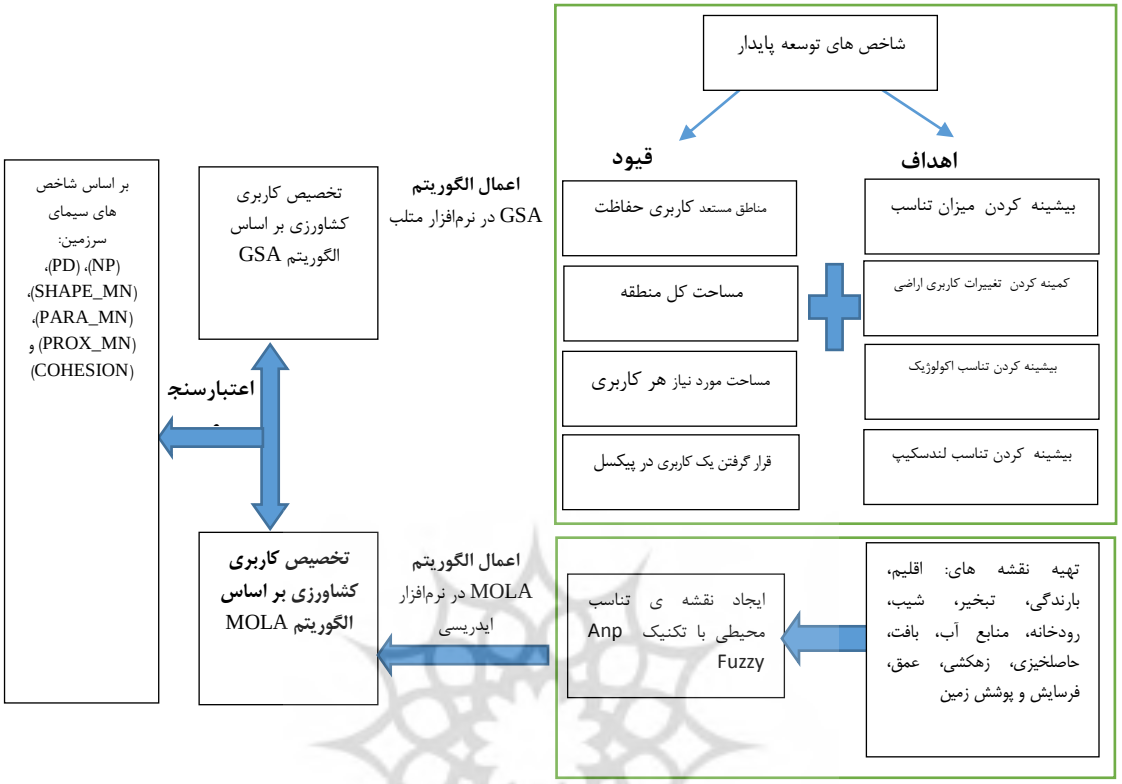
مواد و روش‌ها

استفاده از الگوریتم GSA

در طی سال‌های اخیر تلاش‌های زیادی در راستای مقایسهٔ الگوریتم‌های مختلف ابتکاری به‌عمل آمده است. نتایج این آزمایش‌ها نشان می‌دهد که الگوریتم‌های مختلف در کاربردهای متفاوت عملکردهای یکسانی ندارند. بنابراین، در هر کاربرد یک الگوریتم ممکن است از سایر الگوریتم‌های ابتکاری در یافتن جواب بهینه مؤثرتر و کاراتر عمل کند. این امر باعث شده است که نتوان به‌طور قاطع یک الگوریتم جست‌وجو را نسبت به سایرین برتر دانست.

از جملهٔ جدیدترین الگوریتم‌های هوش جمعی الگوریتم جست‌وجوی گرانشی (GSA) است که راشدی و همکاران آن را در سال ۲۰۰۹ معرفی کردند. این الگوریتم با شبیه‌سازی قوانینی شبیه به قانون گرانش و حرکت نیوتن در محیطی با زمان گسسته در فضای جست‌وجو طراحی شده است. با توجه به قوانین فیزیکی هر جسم بر اثر نیرویی که به آن وارد می‌شود، دارای شتاب و درنتیجه سرعتی هم‌جهت با آن نیرو می‌شود. بنابراین، جرم‌های کوچک‌تر، به‌علت آنکه نیروی اعمالی بر آن‌ها بسیار بیشتر است، به سمت جرم‌های بزرگ‌تر حرکت می‌کنند. بدین‌ترتیب، اگر نقاط بهینه محل اجرام بزرگ‌تر درنظر گرفته شود، با استفاده از قانون گرانش می‌توان این اطلاعات را به بقیهٔ اجرام منتقل کرد و آن‌ها را به سمت نقاط بهینه سوق داد. ویژگی‌های مثبت الگوریتم GSA عبارت است از: همگرایی سریع، عدم توقف در بهینه‌های محلی، کاهش حجم محاسباتی نسبت به الگوریتم‌های تکاملی، و عدم نیاز به حافظه در مقایسه با دیگر الگوریتم‌های خانوادهٔ هوش جمعی (ده‌باشیان و ظهیری، ۱۳۹۰). بنابراین، در این مقاله، با توجه به مزایای الگوریتم GSA، از قابلیت‌های این الگوریتم در بهینه‌سازی مسائل ارزیابی تناسب زمین چندهدفه با درنظرگرفتن ابعاد مفهومی موجود در شکل ۲ استفاده شده است. در مسئلهٔ پیش رو تخصیص بهینهٔ کاربری کشاورزی در مقیاس بزرگ و در محیط طبیعی (حوضهٔ آبخیز بیرجند) انجام شده است. در محدودهٔ مورد مطالعه تناسب محیطی برای کاربری کشاورزی برآورد شد و سپس توابع برازش مختلف مانند اهداف فضایی، اکولوژیک، تناسب، حداقل تغییرات، و سیمای سرزمین و همچنین قیود موردنظر برای ایجاد یک نتیجهٔ بهینه از طریق الگوریتم‌های ابتکاری محاسبه شد. در نهایت، به‌منظور فرموله‌کردن مشکلات تخصیص کاربری اراضی یا ایجاد مدل بهینه‌سازی، اهداف و قیودی تعریف شد. تنظیم توابع اهداف مدل

بهینه‌سازی بر اساس مفهوم توسعهٔ پایدار و ویژگی‌های مسئله بهینه‌سازی تخصیص کاربری اراضی به کمک برنامه‌نویسی در نرم‌افزار MATLAB فرموله شدند که در ادامه این اهداف بیشتر تشریح شده است.



شکل ۲. فلوچارت مراحل کاربرد الگوریتم جست‌وجوی گرانشی در تخصیص کاربری زمین

توابع اهداف مدل بهینه‌سازی

بیشینه‌کردن تناسب محیطی: سازگاری یک قطعه زمین برای کاربری هدف براساس فاکتورهای فیزیکی، محیطی، و زیرساختی نیازمند تعیین نقشه‌های عوامل مؤثر و تلفیق آن‌هاست. در این تحقیق مراحل ایجاد تابع تناسب به شرح زیر است:

۱. شناسایی عوامل تأثیرگذار در تناسب کشاورزی؛

۲. ایجاد پایگاه دادهٔ مکانی اطلاعات تأثیرگذار؛

۳. فازی‌سازی لایه‌ها؛

۴. وزن‌دهی لایه‌ها با استفاده از نظر کارشناسی و به‌کارگیری تکنیک فرایند تجزیه و تحلیل شبکه[1] (ANP)؛

۵. تهیهٔ نقشه‌های محدودیت با استفاده از روش بولین، برای منطقهٔ مورد مطالعه؛

۶. ایجاد نقشهٔ تناسب محیطی به کمک روش ترکیب خطی وزن‌دار[2] (WLC).

بنابراین، مطابق با رابطهٔ ۱، به‌منظور بیشینه‌کردن تناسب کاربری زمین، $Suit_{ijk}$ بیانگر تناسب سلول (i, j) برای کاربری k است. به عبارت دیگر، این تابع پتانسیل یا شایستگی یک سلول را برای ایجاد کاربری کشاورزی بر اساس فاکتورهای فیزیکی محیطی و زیرساختی نشان می‌دهد.

1. Analytic Network Process
2. Weighted Linear Combination

$$F(x) = Max \sum_{K=1}^{K} \sum_{i=1}^{R} \sum_{j=1}^{C} Suit_{ijk} \; X_{ijk} \qquad (۱)$$

کمینه‌کردن تبدیل کاربری اراضی: باعث کاهش هزینه‌های سرمایهٔ اجتماعی می‌شود، درحالی‌که سود اقتصادی جامعه را افزایش می‌دهد. این هدف به کمک تابع کمینه‌کردن سهولت تغییر کاربری یا تابع حداقل تبدیل موجود در رابطهٔ ۲ برآورد می‌شود. $Conv_{um}$ بیانگر میزان سهولت تغییر کاربری زمین u به m است.

$$F(x) = Min\ (1\text{-}Conv_{um}) \qquad (۲)$$

بیشینه‌کردن تناسب بوم‌شناختی: به معنی حفظ ویژگی‌های طبیعی و ساختار محیطی با بیشینه‌کردن سرزمین‌های سبز است که آن را می‌توان با ارزش‌های خدمات اکوسیستم[1] (ESV) حال و آینده ارزیابی کرد.

$$F(x) = Max\ (ESV_{future} \circ ESV_{current}) \qquad (۳)$$

بیشینه‌کردن پایداری سیمای سرزمینی: در مفاهیم سیمای سرزمین، فرم‌های فشرده و نزدیک به دایره پایداری بیشتری نسبت به ساختارهای خردشده دارند. این هدف از طریق اعمال بیشینه‌کردن تابع فشردگی حاصل می‌شود.

بیشینه‌کردن تابع فشردگی: بهینه‌سازی الگوی مکانی- کشاورزی سازنده‌تر و سودآورتر، کاهش فشار توسعهٔ شهر، تسهیل مدیریت شهری و مناظر سبز وسیع‌تر، استفادهٔ کارآمد از منابع و انرژی، افزایش میزان دسترسی به کاربری‌ها، کاهش ترافیک، نیاز کمتر به مراکز خدمات‌دهنده و زیرساخت‌ها، برابری اجتماعی. در این تحقیق، برای ایجاد سطحی یکپارچه و فشرده، از به‌کارگیری فرم دایره در اطراف مراکز ثقل تصویر استفاده شد. همچنین، با به‌کارگیری الگوریتم پردازش تصویر نویزها و تک‌سلول‌ها حذف شد.

قیود مدل بهینه‌سازی

تنظیم توابع قیود یا محدودیت در مدل بهینه‌سازی نیز از طریق درنظرگرفتن مناطق حفاظت‌شدهٔ سیل‌خیز و مناطق دارای شیب بیش از ۷۰درصد، میزان تقاضای مناطق کشاورزی، قرارگرفتن یک کاربری در هر پیکسل، و درنظرگرفتن مساحت کل منطقه اعمال شد.

محدودیت توسعه در مناطق مستعد حفاظت: مناطقی که دارای شیب بالا و فرسایش زیاد یا لرزه‌خیزند به‌عنوان محدودیت در هنگام تهیهٔ نقشهٔ تناسب درنظر گرفته شدند.

محدودیت کل مساحت زمین: مجموع مساحت‌های انواع کاربری‌های زمین باید مطابق با رابطهٔ ۴ برابر با مساحت کل زمین (۳۴۳۰/۶۹۱ کیلومتر مربع) باشد. در این رابطه x_K بیانگر مساحت کاربری k اُم است.

$$\sum_{k=1}^{3} x_k = ۳۴۳۰/۶۹۱ \left(\mathbf{km}^2\right) \qquad (۴)$$

محدودیت تقاضای انواع کاربری‌ها: این محدودیت با توجه به میزان رشد جمعیت و سناریوسازی‌های آینده برآورد شده است (یوسفی روبیات، ۱۳۹۵). در این مسئله فرض بر این است که ۱۰درصد محتمل‌ترین سناریو رخ دهد.

1. Ecosystem Service Values

بنابراین، نزدیک به ۶۰۰۰ سلول ۵۰ در ۵۰ متر معادل ۱۵ کیلومتر مربع در افق ۱۴۰۴ نیاز به اراضی کشاورزی وجود خواهد داشت.

برای تعیین میزان مساحت مورد نیاز کاربری کشاورزی، نخست به کمک الگوریتم GSA مراکز ثقلی که دارای بالاترین چگالی از نظر تناسب بودند انتخاب شدند. سپس، مناطق اطراف این مراکز با دایره‌ای به شعاع ۵۰ سلول مشخص شد تا هنگام تخصیص الگوریتم میزان مساحت مورد نیاز را از درون این مناطق برداشت کند.

محدودیت‌های فضایی: بدین‌منظور، باید اطمینان حاصل شود که تنها یک کاربری می‌تواند در هر سلول قرار گیرد.

سنجش کارایی الگوریتم جست‌وجوی گرانشی

به‌منظور ارزیابی کارایی الگوریتم جست‌وجوی گرانشی در به‌گزینی اراضی کشاورزی آینده، نتایج حاصل از آن با یکی از معمول‌ترین روش‌های تخصیص کاربری با نام تخصیص چندهدفهٔ سرزمین[1] (MOLA) مقایسه شد. در اجرای این الگوریتم، به‌کمک نرم‌افزار IDRISI، لایه‌های تناسب کاربری‌ها تهیه شد و هر لایه با فرمت مورد نیاز رتبه‌دهی شد. سپس، کاربری‌ها برحسب اولویت توسعه وزن‌دهی شدند. همچنین، به‌منظور ایجاد شرایط یکسان، برای مقایسه با نتایج الگوریتم دیگر، تعداد سلول‌های مورد نیاز کشاورزی حدود ۶۰۰۰ سلول مفروض قرار گرفت. در نهایت، از سه رویکرد برای مقایسه و سنجش کارایی الگوریتم استفاده شد که هر کدام از رویکردها به‌نوعی بیانگر مزیت و برتری الگوریتم به‌کار گرفته بود: رویکرد اول، ارزیابی بصری و بررسی انسجام لکه‌های تخصیص‌یافتهٔ اراضی کشاورزی است؛ رویکرد دوم، از طریق پارامترهای آماری نظیر میانگین و انحراف استاندارد تناسب کاربری کشاورزی در لکه‌های تخصیص‌یافته است؛ رویکرد سوم نیز به کمک محاسبه و تحلیل سنجه‌های سیمای سرزمین نظیر تعداد لکه (NP)، تراکم لکه (PD)، میانگین شاخص شکل (SHAPE_MN)، میانگین به مساحت لکه (PARA_MN)، شاخص همسایگی (PROX_MN)، و انسجام لکه (COHESION) در نرم‌افزار FRAGSTATS است.

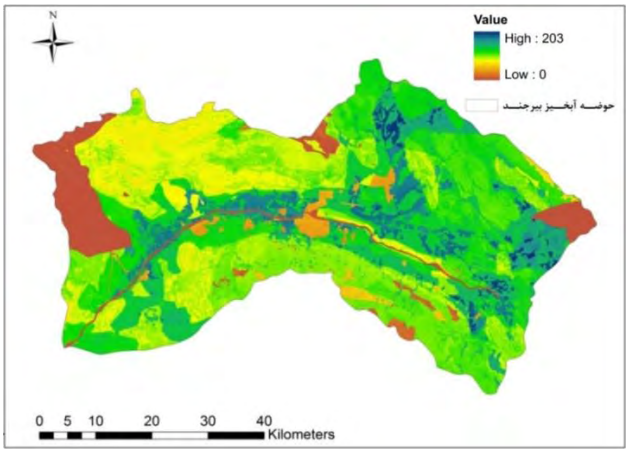
یافته‌های پژوهش

در این تحقیق همهٔ اهداف و محدودیت‌های مدل بهینه‌سازی نقشه‌سازی شد. بدین‌ترتیب، میزان تناسب کاربری کشاورزی با استفاده از ۱۲ عامل نظیر اقلیم، بارندگی، تبخیر، شیب، رودخانه، منابع آب، بافت، حاصل‌خیزی، زهکشی، عمق، فرسایش، و پوشش زمین از طریق تکنیک ANP Fuzzy وزن‌دهی و فازی‌سازی شد. همچنین، مناطق دارای شیب‌های بالای ۷۰درصد، مناطق حفاظت‌شدهٔ سازمان محیط زیست، و مناطق سیل‌خیز به‌عنوان محدودیت اعمال شد. نقشهٔ تناسب کاربری کشاورزی به کمک روش WLC به صورت شکل ۳ حاصل شد (یوسفی روبیات و همکاران، ۱۳۹۵).

محاسبات مربوط به تابع حداقل تبدیل به کمک مرور منابع مطابق با جدول ۱ حاصل شد. سپس، نقشهٔ سهولت تغییر پوشش اراضی به کاربری کشاورزی در حوضهٔ آبخیز بیرجند به صورت شکل ۴ نقشه‌سازی شد.

نتایج حاصل از بیشینه‌کردن تناسب بوم‌شناختی از طریق تفاوت ارزش‌های خدمات اکوسیستم کاربری زمین آتی به کاربری زمین فعلی برای هر سلول طبق یافته‌های موجود در جدول ۲ به‌دست آمد و بر مبنای آن نقشهٔ تفاوت ارزش خدمات اکوسیستم کاربری آتی به فعلی (شکل ۵) مدل‌سازی شد.

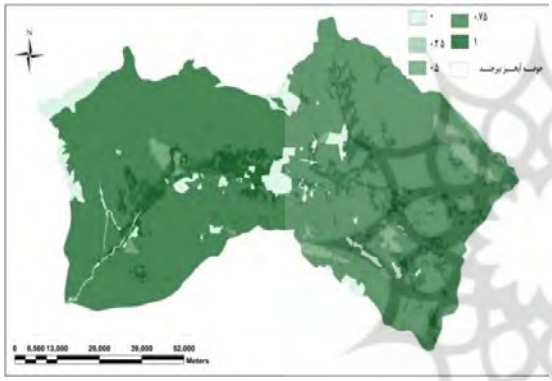
1. Multi Objective Land Use Allocation



شکل ۳. تناسب کاربری کشاورزی با استفاده از تکنیک‌های ANP Fuzzy و WLC

جدول ۱. محدودیت‌های تبدیل کاربری زمین

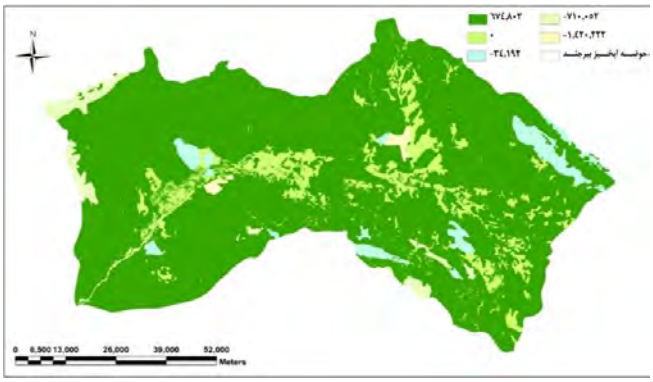
انواع مختلف پوشش زمین/ کاربری مورد مطالعه	زراعت آبی
بیرون‌زدگی سنگی– دق رسی	۰
زراعت دیم	۰/۷۵
زراعت آبی	۱
جنگل دست‌کاشت	۰
مرتع کم‌تراکم	۰/۷۵
مرتع نیمه‌متراکم	۰/۵
مرتع متراکم	۰/۲۵
بستر رودخانه	۰
بیشه‌زار ° درختچه‌زار	۰
مسکونی	۰



شکل ۴.

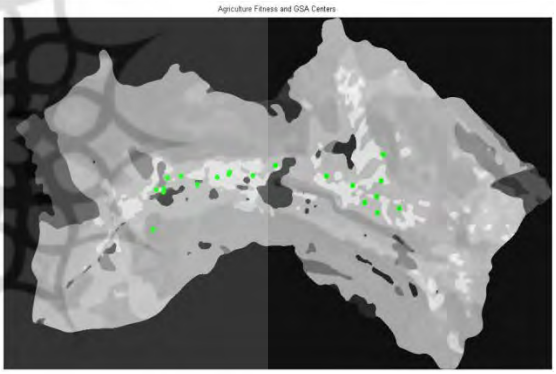
جدول ۲. ارزش بوم‌شناختی هر نوع کاربری زمین و میزان تفاضل ارزش خدمات اکوسیستم

نوع کاربری و پوشش زمین	ارزش خدمات اکوسیستم (Yuan در ۱۰۰۰۰ m^2)	ارزش خدمات اکوسیستم در هر واحد کاربری زمین (تومان در ۲۵۰۰ m^2)	تفاضل آن با کاربری کشاورزی (۷۱۸۳۹۵ – ESV)
بیرون‌زدگی سنگی– دق رسی	۳۷۱	۴۳۵۹۲	۶۷۴۸۰۳
زراعت دیم	۶۱۱۴	۷۱۸۳۹۵	۰
زراعت آبی	۶۱۱۴	۷۱۸۳۹۵	۰
جنگل دست‌کاشت	۱۸۲۰۱	۲۱۳۸۶۱۷	−۱۴۲۰۲۲۲
مرتع کم‌تراکم	۳۷۱	۴۳۵۹۲	۶۷۴۸۰۳
مرتع نیمه‌متراکم	۶۴۰۵	۷۵۲۵۸۷	−۳۴۱۹۲
مرتع متراکم	۶۴۰۵	۷۵۲۵۸۷	−۳۴۱۹۲
بستر رودخانه	۳۷۱	۴۳۵۹۲	۶۷۴۸۰۳
بیشه‌زار ° درختچه‌زار	۱۲۱۵۷	۱۴۲۸۴۴۷	−۷۱۰۰۵۲
مسکونی	۳۷۱	۴۳۵۹۲	۶۷۴۸۰۳



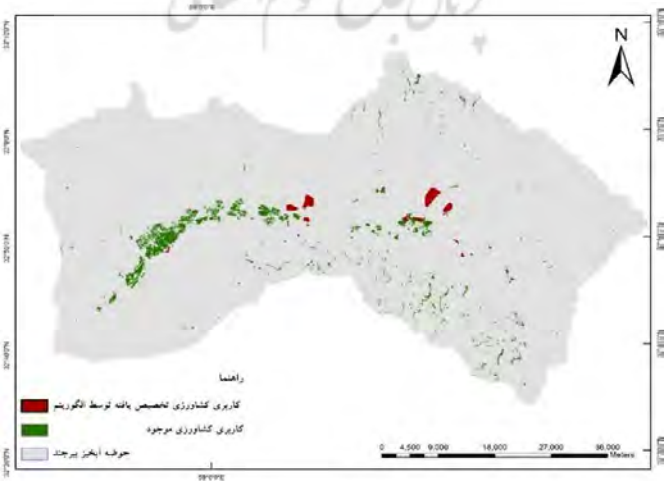
شکل ۵. تفاوت ارزش خدمات اکوسیستم کاربری آتی به فعلی

به کمک الگوریتم GSA، بعد از برازش همهٔ اهداف و محدودیت‌های درنظرگرفته‌شده، مراکز ثقل (شکل ۶) و مناطق اطراف مراکز ثقل با بالاترین چگالی تناسب کشاورزی به صورت شکل ۷ آماده شد. در این الگوریتم پاسخ‌های مورد نظر موقعیت اجرام در فضای مسئله هستند. میزان اجرام نیز با توجه به تابع برازش تعیین می‌شود. در نهایت، تخصیص کاربری کشاورزی به صورت شکل ۸ مدل‌سازی شد.



۶. مراکز ثقل ایجادشده توسط الگوریتم بر مبنای برازش مدل بهینه‌سازی

شکل ۷. مناطق اطراف مراکز ثقل دارای بالاترین چگالی تناسب شکل



شکل ۸. کاربری کشاورزی تخصیص‌یافته توسط الگوریتم GSA

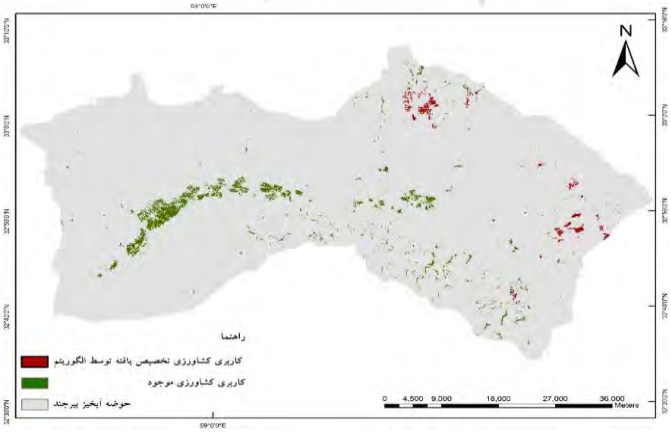
همچنین، جهت صحت‌سنجی مناطق پیشنهادی کاربری کشاورزی توسط الگوریتم GSA و MOLA برای ده سال آینده با پوشش فعلی زمین، نتایج حاصل از این دو الگوریتم با نقشهٔ پوشش زمین روی‌هم‌گذاری و مشخص شد (مطابق جدول ۳). در هر دو الگوریتم GSA و MOLA بیشتر اراضی انتخابی دو الگوریتم برای ده سال آینده برای کاربری کشاورزی از کاربری‌هایی خواهد بود که در حال حاضر دارای کاربری مرتع کم‌تراکم، دیم، و مرتع نیمه‌متراکم‌اند؛ این خود نشان از حل مناسب مسئلهٔ تخصیص کاربری کشاورزی در حوضهٔ آبخیز بیرجند توسط هر دو الگوریتم را دارد. در نتیجه، این دو الگوریتم از این به بعد تقریباً عملکرد مشابهی دارند؛ ولی تفاوت اصلی در موقعیت مکانی لکه‌هاست؛ درحالی‌که هر دو الگوریتم مناطق پیشنهادی را از کاربری‌های مشابه انتخاب کرده‌اند؛ ولی از لحاظ پراکنش لکه‌ها، نزدیکی به مناطق کشاورزی فعلی، و اصول لندسکیپی (پایداری لکه‌ها)، الگوریتم جست‌وجوی گرانشی نتایج بهتری را ارائه کرده است.

کارایی نسبی الگوریتم GSA

همان‌طورکه در شکل ۸ نمایش داده شده است، با ارزیابی، بصری می‌توان درک کرد که لکه‌های کشاورزی جدید از یک‌پارچگی قابل قبولی برخوردار است. نتایج حاصل از الگوریتم GSA، با نتایج حاصل از الگوریتم MOLA در به‌گزینی کاربری کشاورزی مقایسه شد. نتایج حاصل از تخصیص کشاورزی توسط الگوریتم MOLA در شکل ۹ به تصویر کشیده شده است. همان‌طورکه در این شکل مشخص است، پراکندگی لکه‌های کاربری در این روش موسوم به حالت فلفل‌نمکی بیشتر نمایان است.

جدول ۳. سهم هر کاربری از مناطق پیشنهادی توسط الگوریتم GSA و MOLA برای کاربری کشاورزی

	الگوریتم GSA		الگوریتم MOLA	
نوع کاربری	مساحت (متر مربع)	درصد سهم هر کاربری	مساحت (متر مربع)	درصد سهم هر کاربری
کاربری بیشه‌زار	۵۶/۴۹	۱	–	–
کاربری دیم	۶۴۲۸۰۹۳۷/۱۷	۱۲/۳۵	۱۶۶۴۶۵۰۹/۲۸	۱۴/۳
جنگل دست‌کاشت	۲۸۴۴۷۳۰/۹۲	۷	–	–
مرتع کم‌تراکم	۳۰۶۱۳۲۹۷۳/۰۴	۷۳/۰۹	۸۸۶۰۴۱۶۲/۲۸	۷۶/۱۵
مرتع نیمه‌متراکم	۲۶۸۰۰۳۵۹/۷۲	۶/۴	۱۰۲۶۶۵۶۹/۶	۸/۸
مسکونی	۲۱۳۱۰۵۲۸/۱۲	۵/۰۹	۹۱۶۶۵/۸	۰/۱۲
زراعت آبی	–	–	۷۳۳۳۲۶/۴	۰/۶۳



شکل ۹. کاربری کشاورزی تخصیص‌یافته توسط الگوریتم MOLA

یافته‌های حاصل از مقایسهٔ پارامترهای آماری در جدول ۴ نشان می‌دهد، به لحاظ میانگین تناسب کشاورزی، الگوریتم MOLA دارای عملکرد بهتری است؛ ولی از نظر انحراف استاندارد الگوریتم GSA وضعیت مطلوب‌تری دارد. همچنین، تجزیه و تحلیل همهٔ سنجه‌های سیمای سرزمین مورد نظر مطابق با مقادیر جدول ۴ حاکی از کارایی و برتری نسبی نتایج الگوریتم GSA نسبت به MOLA است.

جدول ۴. مقایسهٔ آماری و سنجه‌های سیمای‌سرزمین نتایج الگوریتم GSA و MOLA در به‌گزینی کاربری کشاورزی

نتایج به‌گزینی کشاورزی/ معیارهای مقایسه	پارامترهای آماری		سنجه‌های سیمای سرزمین					
	میانگین	انحراف استاندارد	تعداد لکه	تراکم لکه	میانگین شاخص شکل	میانگین به مساحت لکه	شاخص همسایگی	انسجام لکه
الگـــوریتم GSA	۱۳۳/۱۶۹	**۴۵/۳۷**	**۹۷۹**	**۰/۱۶**	**۱/۳۶**	**۵۲۰/۵۸۵**	**۴۸/۰۵**	**۹۵/۷۷**
الگـــوریتم MOLA	**۱۳۴/۱۷۶**	۴۵/۵۳	۱۱۶۵	۰/۱۹	۱/۳۷	۵۲۰/۵۸۷	۳۷/۸۱	۹۵/۶۰

بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق بهینه‌سازی ساختار کاربری اراضی برای رسیدن به اهداف محیط زیستی، اجتماعی، و اقتصادی مطلوب بر پایهٔ ویژگی‌های منابع زمین و نتایج حاصل از ارزیابی تناسب اراضی به‌کار گرفته شد. هدف بهینه‌سازی بهبود بهره‌وری و اثربخشی کاربری اراضی، حفظ تعادل نسبی اکوسیستم، و دست‌یابی به استفادهٔ پایدار از منابع زمین است. فرایند بهینه‌سازی کاربری اراضی به‌سبب نیاز به تعامل با بسیاری از عوامل مرتبط یک فرایند پیچیدهٔ سیستمیک است. بنابراین، افزایش علاقه‌مندی برای آمایش سرزمین به‌عنوان یک ابزار تسهیل‌کنندهٔ این فرایند پیچیده وجود دارد؛ به‌طوری‌که به اندازهٔ کافی در تخصیص کاربری اراضی انعطاف‌پذیر باشد؛ تا حد ممکن بین اهداف اغلب متضاد (نظیر زیست‌پذیری اقتصادی، محافظت از ساختارهای اجتماعی و حفظ محیط زیست) تعادل برقرار کند.

در این پژوهش در حوضهٔ آبخیز بیرجند تخصیص بهینهٔ کاربری کشاورزی با استفاده از الگوریتم جست‌وجوی گرانشی و اصل تناسب زمین انجام شد. هدف از به‌کارگیری این الگوریتم جست‌وجوی راه‌حل بهینه برای مشکل تخصیص کاربری اراضی با اهداف و محدودیت‌های متعدد است و نتیجهٔ نهایی براساس تعامل بین سود اقتصادی، منافع محیط زیستی و بوم‌شناختی، و عدالت اجتماعی است. این اهداف و محدودیت‌ها در یک مدل بهینه‌سازی چندهدفهٔ کاربری اراضی فرموله شد و نتایج به‌وضوح قابلیت این مدل را در یک فرایند پشتیبانی برنامه‌ریزی با بررسی اهداف چندگانه و ترجیحات مختلف نشان داد. همچنین، به‌منظور سنجش کارایی، نتایج این الگوریتم با نتایج حاصل از الگوریتم MOLA مقایسه شد. نتیجهٔ به‌دست‌آمده نشان داد در الگوریتم MOLA لکه‌های زیادی به کشاورزی تخصیص یافته است که این عیب محسوب می‌شود؛ از طرف دیگر، این لکه‌ها بالاترین میانگین تناسب را دارند که مزیت آن به‌شمار می‌رود. ولی لکه‌های تخصیص‌یافته توسط الگوریتم GSA ممکن است دارای میانگین تناسب بالایی نباشد؛ ولی حداکثر مجموع تناسب را در حالتی به ما می‌دهد که لکه‌های کمی در نقشه داشته باشیم که هم به میزان تقاضا بستگی دارد هم فشردگی لازم را دارد که این خود یک مزیت بزرگ است. از نظر تحلیل سیمای سرزمین نیز همهٔ سنجه‌ها حاکی از کارایی و برتری نسبی نتایج الگوریتم GSA نسبت به MOLA است. از نظر فنی و اجرایی نیز این الگوریتم دارای توانایی بسیار زیادی در حل مسائل با فضای بزرگ و پیچیده (۱۲۲۲ ردیف در ۲۰۰۳ ستون قریب به ۲۴۴۷۶۶۶ سلول) در زمان اندک (حدود ده دقیقه) با اهداف و قیود زیاد است. همچنین، با مقایسهٔ موقعیت مناطق پیشنهادی دو الگوریتم برای

کاربری کشاورزی و نقشهٔ کاربری اراضی فعلی مشخص شد در هر دو الگوریتم GSA و MOLA بیشتر اراضی انتخابی دو الگوریتم برای ده سال آینده برای کاربری کشاورزی از کاربری‌هایی خواهد بود که در حال حاضر دارای کاربری مرتع کم‌تراکم، دیم، و مرتع نیمه‌متراکم‌اند؛ که این نشان از نتایج مناسب هر دو الگوریتم از این بعد است. بنابراین، به‌طور کلی، می‌توان مزایای استفاده از هوش مصنوعی و بالاخص الگوریتم‌های فراابتکاری در روش‌های تخصیص کاربری را این‌گونه بیان کرد: چون این الگوریتم‌ها بر پایهٔ فرایندهای پُرتکرار در طبیعت‌اند، دارای پشتوانهٔ علمی و صحت بالایی می‌باشند. استفاده از نرم‌افزارهایی که از لحاظ محاسباتی قوی هستند در کنار نرم‌افزار جی.ای.اس.، که از بُعد تحلیل فضایی قدرتمند است، یک مجموعهٔ قوی و سودمند را در مسائل پیچیده و بزرگ مکان‌یابی فراهم می‌کند. از دیگر مزایای مهم این روش که در روش‌های سنتی به‌عنوان ضعف اساسی بوده است امکان ارزیابی چند هدف به صورت هم‌زمان با درنظرگرفتن قیود و محدودیت‌ها در زمان اندک است. در این پژوهش، با کمک از الگوریتم جست‌وجوی گرانشی، چهار هدف به صورت هم‌زمان در کنار قیود و محدودیت‌ها در ده دقیقه به جواب رسید و به علت نوع الگوریتم به‌کارگرفته‌شده لکه‌های منتخب منسجم و از لحاظ اصول لندسکیپ دارای پایداری اکولوژیکی بالایی بودند.

البته، از مهم‌ترین ایرادات این روش ایجاد توابع هدف و تبدیل مسائل و اهداف به صورت فرمول‌های ریاضی است؛ که این خود پیچیدگی‌هایی در زمینهٔ فرمول‌نویسی‌ها در نرم‌افزارهای برنامه‌نویسی ایجاد می‌کند. همچنین، برای داشتن توابع هدف بیشتر و دقت بسیار زیاد به اطلاعات و داده‌های بیشتری نیاز است؛ دست‌یابی به این اطلاعات خود وقت‌گیر و گاه مشکل است.

بنابراین، با توجه به تجارب به‌دست‌آمده طی این تحقیق، پیشنهاد می‌شود، با توجه به میزان دسترسی داده، تعداد کاربری‌ها، توابع هدف، و قیود متفاوت و بیشتری آزمون شود. می‌توان با استفادهٔ ترکیبی و هیبریدی روش‌های مختلف هوش مصنوعی دیگر به مقولهٔ بهینه‌سازی شکل لکه‌های کاربری‌ها نیز پرداخت. به‌منظور تعیین بهترین راه‌حل‌ها در هر یک از توابع می‌توان از طریق ارزیابی پارتویی توابع هدف راه‌حل‌های مختلف را حساسیت‌سنجی کرد. همچنین، استفاده از چارچوب ارائه‌شده در سایر برنامه‌ریزی‌های تخصیص کاربری زمین و تطبیق با شرایط مناطق دیگر توصیه می‌شود.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

ده‌باشیان، م. و ظهیری، س.ح. (۱۳۹۰). ارائهٔ یک ابزار بهینه‌سازی نوین در طراحی خودکار مدارات مجتمع آنالوگ مبتنی بر الگوریتم MOGSA، مجلهٔ *هوش محاسباتی در مهندسی برق*، ۲(۳).

ده‌باشیان، م. و ظهیری، س.ح. (۱۳۸۹). آموزش شبکهٔ عصبی MLP در فشرده‌سازی تصاویر با استفاده از روش GSA، نشریهٔ *مهندسی برق و مهندسی کامپیوتر ایران*، ۸(۴).

خوش‌آموز، گ.؛ طالعی، م. و منصوریان، ع. (۱۳۹۱). توسعهٔ مدل تصمیم‌گیری چندهدفهٔ مکانی با تأکید بر آمایش صنایع انرژی‌بر، *محیط‌شناسی*، ۳۸(۲): ۱-۱۲.

مخدوم، م. (۱۳۹۰). آمایش سرزمین. انتشارات دانشگاه تهران.

مقصودی، م.؛ فرجی سبکبار، ح.؛ پرواز، ح. و بهنام مرشدی، ح. (۱۳۹۴). مکان‌یابی مناطق بهینهٔ توسعهٔ اکوتوریسم در پارک ملی کویر با استفاده از GIS و الگوریتم ژنتیک، *پژوهش‌های جغرافیای انسانی*، ۴۷(۲): ۳۶۷-۳۹۰.

کامیاب، ح.ر.؛ سلمان ماهینی، ع. ر. و شهرآیینی، م. (۱۳۹۴). ارتقای روش MOLA با توجه به معیارهای سیمای سرزمین و بهره‌گیری از الگوریتم ژنتیک، مجلهٔ *آمایش سرزمین*، ۷(۱): ۲۹-۴۸.

یوسفی روبیات، ا. (۱۳۹۵). *بسط الگوریتم‌های فراابتکاری در ارزیابی تناسب کاربری زمین*، رسالهٔ دکتری، رشتهٔ برنامه‌ریزی محیط زیست، دانشگاه تهران.

یوسفی روبیات، ا.؛ صالحی، ا.؛ ظهیری، س.ح. و یاوری، ا.ر. (۱۳۹۵). رفع مشکل استقلال عوامل و عدم قطعیت در ارزیابی توان کشاورزی با استفاده از روش ANPFUZZY (مطالعهٔ موردی حوضهٔ آبخیز بیرجند)، *محیط شناسی*، ۴۲(۳).

Kamyab, H.; Salman Mahiny, A. and Shahraini, M. (2015). A Genetic Algorithm Enhancement of MOLA Approach Using Landscape Metrics, *Town And Country Planning*, 7(1): 29-48. (In Persian)

Maghsoudi, M.; Faraji Sabokbar, H.; Parvaz, H.and Behnam Morshedi, H. (2015). Site selection for Tourism Development Using Genetic Algorithm and GIS, Case Study: Kavir National Park, *Human Geography Research*, 47(2): 367-390. (In Persian)

Khoshamouz, G.; Taleai, M. and Mansourian, A. (2012). Development of a Spatial Multi Objective Optimization Model for Intensive Energy Industries Land Use Planning, *journal of environmental studies*, 38(2): 1-12. (In Persian)

Dehbashian, M. and Zahiri, S.M. (2011).Training MLP Neural Network in Images Compression by GSA Method, *Iranian Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2(5-6): 45-53. (In Persian)

Zahiri, S.H. and Dehbashian, M. (2011). A Novel Optimization Tool for Automated Design of Integrated Circuits based on MOSGA, *Computational Intelligence in Electrical Engineering* , 2(3): 17-34 . (In Persian)

Cao, K.; Batty, M.; Huang, B.; Liu, Y.; Yu, L. and Chen, J. (2011). Spatial multi-objective land use optimization: extensions to the non-dominated sorting genetic algorithm-II, *International Journal of Geographical Information Science*, 25(12): 1949-1969.

Cao, K.; Huang, B.; Wang, S. and Lin, H. (2012). Sustainable land use optimization using Boundary-based Fast Genetic Algorithm. Computers, *Environment and Urban Systems*, 36(3): 257-269.

Collins, M.G.; Steiner, F.R. and Rushman, M.J. (2001). Land-use suitability analysis in the United States: historical development and promising technological achievements, *Environmental management*, 28(5): 611-621.

Datta, D.; Deb, K. and Fonseca, C.M. (2007). Multi-objective evolutionary algorithms for resource allocation problems, *Paper presented at the Evolutionary Multi-Criterion Optimization*.

Datta, D.; Deb, K.; Fonseca, C.M.; Lobo, F. and Condado, P. (2007). Multi-objective evolutionary algorithm for land-use management problem, *International Journal of Computational Intelligence* Research, 3(4): 1-24.

Dorn, J.L. and Ranjithan, S.R. (2003). Evolutionary multiobjective optimization in watershed water quality management, *Paper presented at the Evolutionary Multi-Criterion Optimization*.

Haupt, S.E.; Pasini, A. and Marzban, C. (Eds.) (2008). Artificial intelligence methods in the environmental sciences, *Springer Science & Business Media*.

Li, X. and Yeh, A.G. (2005). Integration of genetic algorithms and GIS for optimal location search, *International Journal of Geographical Information Science*, 19(5): 581-601.

Liu, X.; Li, X.; Shi, X.; Huang, K. and Liu, Y. (2012). A multi-type ant colony optimization (MACO) method for optimal land use allocation in large areas, *International Journal of Geographical Information Science*, 26(7): 1325-1343.

Liu, Y.; Tang, W.; He, J.; Liu, Y.; Ai, T. and Liu, D. (2015). A land-use spatial optimization model based on genetic optimization and game theory. Computers, *Environment and Urban Systems*, 49: 1-14.

Liu, Y.; Yuan, M.; He, J. and Liu, Y. (2014). Regional land-use allocation with a spatially explicit genetic algorithm, *Landscape and Ecological Engineering*, 11(1): 209-219.

Ma, S.; He, J.; Liu, F. and Yu, Y. (2011). Land-use spatial optimization based on PSO algorithm, *Geo-spatial Information Science*, 14(1): 54-61.

Makhdoom, M. (2011). *Land use planning*, University of Tehran Press. (In Persian)

Malczewski, J. (2000). On the use of weighted linear combination method in GIS: common and best practice approaches. Transactions in GIS, 4(1): 5-22.

Matthews, K.B. (2001). *Applying genetic algorithms to multi-objective land-use planning*, Ph.D. Dissertation, The Robert Gordon University, Scotland.

Matthews, K.B.; Buchan, K.; Sibbald, A. and Craw, S. (2006). Combining deliberative and computer-based methods for multi-objective land-use planning, *Agricultural Systems*, 87(1): 18-37.

Nidumolu, U.B.; De Bie, C.; Van Keulen, H.; Skidmore, A.K. and Harmsen, K. (2006). Review of a land use planning programme through the soft systems methodology, *Land Use Policy*, 23(2): 187-203.

Ponjavic, M.; Avdagic, Z. and Karabegoviv, A. (2006). Geographic Information System and Genetic Algorithm Application for Multicriterial Land Valorization in Spatial Planning, Paper presented at the CORP2006-Competence Center of Urban and Regional Planning: *11th International Conference on Urban Planning & Regional Development-Vienna*, Austria.

Rashedi, E.; Nezamabadi-Pour, H. and Saryazdi, S. (2009). GSA: a gravitational search algorithm, *Information sciences*, 179(13): 2232-2248.

Santé-Riveira, I.; Boullón-Magán, M.; Crecente-Maseda, R. and Miranda-Barrós, D. (2008). Algorithm based on simulated annealing for land-use allocation, *Computers & Geosciences*, 34(3): 259-268.

Shaygan, M.; Alimohammadi, A.; Mansourian, A.; Govara, Z.S. and Kalami, S.M. (2014). Spatial Multi-Objective Optimization Approach for Land Use Allocation Using NSGA-II, IEEE Journal of Selected Topics in *Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7(3): 873-883.

Stewart, T.J. and Janssen, R. (2014). A multiobjective GIS-based land use planning algorithm, Computers, *Environment and Urban Systems*, 46: 25-34.

VanLier, H.N. (1994). *Sustainable Land Use Planning*, Amsterdam: Elsevier.

Vassilas, N.; Kalapanidas, E.; Avouris, N. and Perantonis, S. (2001). Intelligent techniques for spatio-temporal data analysis in *environmental applications Machine Learning and Its Applications*, (pp. 318-324): Springer.

Yousefirubiat , E. (2016) . *Expansion of Meta-Heuristic Algorithms to Land-Use Suitability Analysis*, Phd thesis in the Environmental Planning, Univeraity of Tehran Faculty of Environment, Under Supervision of: Dr. Esmaeil Salehi. (In Persian).

Yousefirubiat, E.; Salehi, E.; Zahiri, S.H. and Yavari, A.R. (2016). Problem solving of uncertainty and independence factors in Agricultural Capability Evaluation by Using ANP FUZZY Method, *Journal Of Environmental Studies*, 42(3): 605-624. (In Persian).

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی